

# 역률개선 회로를 적용한 Desk-Top Robot

천광수, 김학진  
(주)다사테크

## Desk-Top Robot with Power Factor Correction

Chun Kwang-Su, Kim Hak-Jin  
DASA TECH Co. Ltd

### ABSTRACT

Recently, many nations have released standard such as EN61000-3-2 to impose a limit on the harmonic current to prevent distortion of AC line and to save energy.

Also, the limit on the harmonic current makes use of a trade barrier.

Therefore, Power factor correction must have been suitable for a limit on the harmonic current.

This paper presents AC servo motor drive to have merits of high power factor for Desk-Top Robot .

### 1. 서 론

과거 유공압이 대부분이었던 산업용 로봇의 액츄레이터는 점차적으로 전동기로 변화하여, 현재는 대부분을 전동기가 차지하고 있다. 그중에서도 AC 서보 모터(영구자석형 동기전동기)의 활용도가 높아짐에 따라 인버터 회로가 필수적으로 사용되고 있다.

그러나, 일반적인 인버터 회로의 경우 입력 전류에 많은 고조파를 포함한다.

최근 많은 나라들이 상용전원의 왜곡 방지 및 에너지 절약 등의 이유로 대부분의 전기기기 제품에 EN61000-3-2와 같은 고조파 규제를 가하고 있다. 또한, 이와 같은 고조파 규제는 수출 시 무역장벽으로도 활용이 된다<sup>[1~3]</sup>.

따라서, 산업용 로봇 역시 수출 증대 및 고조파 제거를 통한 높은 역률을 갖도록 하기 위해서 역률개선 회로(PFC:Power Factor Correction)가 필요하게 되었다.

본 논문은 산업용 로봇 중 하나인 Desk-Top Robot에 역률개선 회로를 적용하여, 높은 역률의 로봇 구동 시스템을 제안하였다. 또한, 역률개선 회로 적용으로 각종 규제 회피, 수출증대 및 안정적인 DC-link 전압을 통하여 보다 안정적인 로봇 구동을 기대한다.

### 2. 역률개선 회로

일반적인 교류회로의 역률은 입력 전압과 입력 전류의 위상차인  $\cos\theta$ 로 나타낸다. 또한, 역률(PF:Power Factor)은 전력의 개념에서 보면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서

$V_{rms}$  는 입력 실효 전압,  $I_{rms}$  는 입력 실효 전류,  $I_{rms1}$  은 입력 실효 전류의 기본파를 의미한다.

$$PF = \frac{\text{유효전력}}{\text{피상전력}} = \frac{V_{rms} I_{rms1} \cos\theta}{V_{rms} I_{rms}} = \frac{I_{rms1}}{I_{rms}} \cos\theta \quad (1)$$

식 (1)과 같이 역률은 피상전력과 유효전력의 비로 나타낼 수 있으며 전압과 전류의 위상차가 없는 저항부하의 경우  $\cos\theta$ 가 1이 되어 최대 역률이 됨을 알 수 있다.

일반적인 인버터 회로의 경우에는 DC-link를 위하여 캐패시터 삽입형 정류 회로를 사용하게 된다. 그러나 이와 같은 경우 전압과 전류의 위상차는 거의 없으나, 피크성의 입력 전류 파형으로 인하여, 파형의 왜곡을 나타내는 왜형률(DF:Distortion Power Factor)이 저하되며, 역률은 약 0.6 전후이다.

즉, 역률은 위상에만 관계하는 것이 아니라 파형의 왜곡에도 영향을 받는다. 이는 식 (1)에서  $I_{rms}$  와  $I_{rms1}$  의 값이 같지 않은 경우이다<sup>[4,5]</sup>.

이와 같이 왜형률의 비를 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$DF = \frac{I_{rms1}}{I_{rms}} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 알 수 있듯이, 입력 전류는 입력 전압과 동상이며, 기본파가 지배적이면 역률이 좋다고 볼 수 있다.

역률개선 회로는 Semi-Bridge 타입, Buck 타입, Boost 타입 등 여러 가지 방식이 있다.

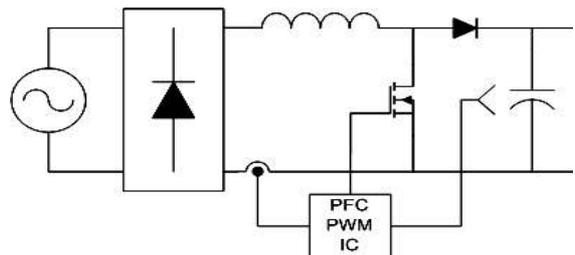


그림 1 Boost 컨버터 타입의 PFC 회로  
Fig. 1 PFC circuit of boost converter type

본 논문에서는 경제적인 이유와 성능, 그리고 구현의 용이함을 위해 가장 널리 사용되는 방식인 Boost 타입의 컨버터를 구현하였다.

역률개선을 위해 본 논문에서 적용한 Boost 타입의 역률개선 회로는 그림 1과 같다.

### 3. 실 험

#### 3.1 시스템 구성

Desk-Top Robot이란 직교좌표운동을 기본으로 하며, 3축 혹은 4축을 기본으로 하는 로봇으로, 주로 규모가 작은 대상물의 조립, 실링, 검사 기능을 수행하는 산업용 로봇이다.

Desk-Top Robot은 작업 반경이 모든 기구부 안쪽이며, 모든 제어가 로봇의 내부에 실장이 되어 공간 활용도가 뛰어나며, 경제적인 산업용 로봇이다.

본 논문에서 사용한 Desk-Top Robot은 (주)다사테크의 DTR3-331을 사용하였다.

그림 2는 본 논문에서 사용한 전체 시스템 구성도이다.

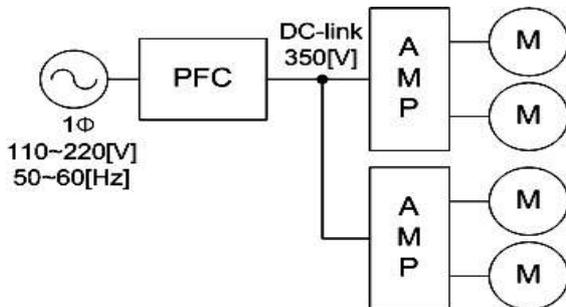


그림 2 전체 시스템 구성도  
Fig. 2 Block diagram of total system

Desk-Top Robot에는 일반적으로 100[W]의 AC 서보 모터 (영구자석형 동기전동기)가 사용이 된다.

본 논문에서는 Desk-Top Robot의 최대 축수인 4축(4개의 모터)으로 실험을 진행하였다.

그림 3은 전체 시스템의 실제 모습이다.



그림 3 전체 시스템  
Fig. 3 System configuration

일반적인 Boost 타입의 역률개선 회로는 입력 전압과 입력 전류의 위상을 동상으로 제어하기 위하여 입력 전압의 위상을

측정한다.

그러나 최근 제어 기법의 발전으로 이와 같은 입력 전압의 측정 없이 입력 전류 위상제어가 가능하다.

본 논문에서는 이와 같은 기능을 구현하기 위해 Infineon사의 ICE1PCS01를 사용하였다<sup>[6]</sup>.

표 1은 Desk-Top Robot에 적용한 역률개선 회로의 사양표이다.

표 1 역률개선 회로의 사양  
Table 1 PFC specification

항목	적용 수치
입력 전압	1 $\phi$ 110~220[V] 50~60[Hz]
출력 전압	DC 350[V]
컨버터 용량	400[W]
스위칭 주파수	100[kHz]

그림 4는 Desk-Top Robot에 역률개선 회로를 적용하기 위하여 제작한 400[W]급 역률개선 회로이다.



그림 4 제작된 역률개선 회로  
Fig. 4 Developed PFC circuit

#### 3.2 실험 결과

본 논문의 타당성으로 위하여 1 $\phi$  110~220[V], 60[Hz] 입력에 부하는 평균 약 200[W]를 유지하는 부하로 실험을 하였다.

측정 장치는 LECROY사의 WAVERUNNER 6100인 오실로스코프와 LS산전의 GIMAC-i인 디지털 파워 미터를 사용하였다.

그림 5는 입력이 1 $\phi$  220[V], 60[Hz]의 경우이다.

그림 5의 (a), (c), (e)는 기존의 다이오드 정류 방식의 파형이며, (b), (d), (f)는 역률개선 회로를 적용한 파형이다.

그림 5의 (a)와 (b)는 입력 전압 및 입력 전류를 비교한 파형이다.

그림 5의 (a)는 최대 값 3[A]의 피크성 입력 전류가 흘러 들어가는 반면, (b)는 최대 값 1[A]의 정현파의 입력 전류가 흘러 들어가는 것을 볼 수 있다.

그림 5의 (c)와 (d)는 DC-link의 리플 전압을 비교한 파형이며, (c)의 경우 약 5[V]의 리플이 측정 되었으며, (d)의 경우 약 2.5[V]의 리플이 측정 되었다.

그림 5의 (e)와 (f)는 입력전류의 FFT 분석을 한 것으로, (e)의 경우 입력 주파수인 60[Hz]의 홀수 차수에 해당하는 고조파 발생 하였으나, (f)의 경우에는 기본파인 60[Hz]에만 입력 전류가 집중 된 것을 볼 수 있다.

그림 5의 실험 조건에서 디지털 파워 미터를 적용하여 역률을 측정한 결과 기존의 다이오드 정류기의 경우 평균 0.7 이하를 유지 하는 반면, 역률개선 회로를 적용한 경우, 평균 0.9 이상을 유지 했다.

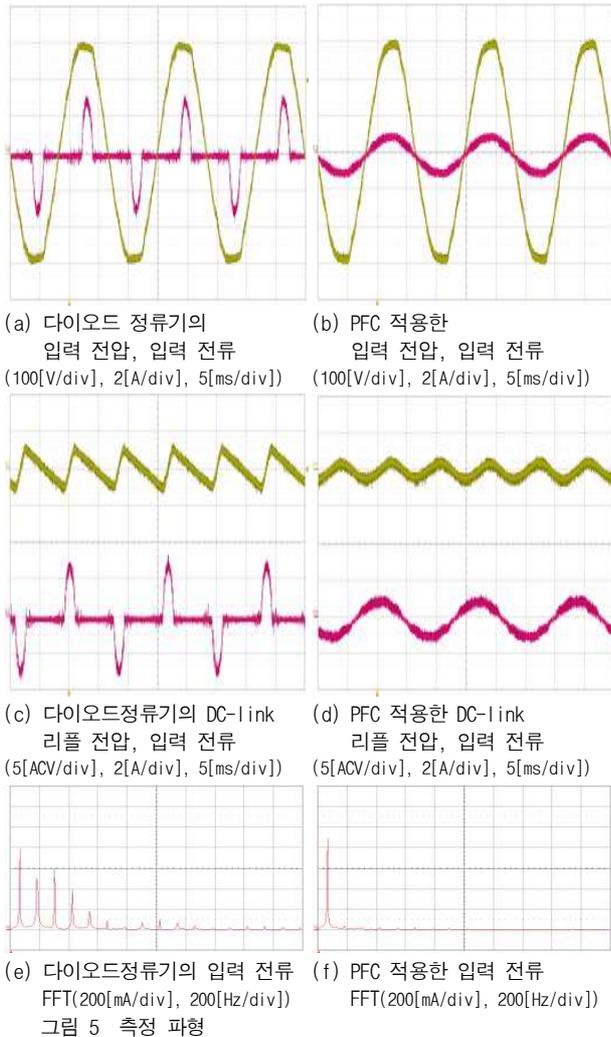


그림 5 측정 파형  
Fig. 5 Measurement waveforms

그림 6은 역률개선 회로를 적용하며, 1 $\phi$  110[V], 60[Hz] 입력에 평균 약 200[W]를 유지하는 부하로 실험을 하였다.

그림 6의 (a)는 입력 전압 및 입력 전류의 파형으로 그림 5의 (b)와 비교하여 입력 전압이 줄어드는 대신 입력 전류가 증가 했음을 볼 수 있다.

그림 6의 (b)는 DC-link 전압이 목표 값인 350[V]을 유지함을 알 수 있으며, (c)의 DC-link 리플 전압도 그림 5의 (d)와 유사한 결과를 보여준다.

그림 6의 (d)는 1 $\phi$  110[V], 60[Hz] 인가 시의 입력 전류에 대한 FFT 분석으로 기본파인 60[Hz]에 입력 전류가 집중 된 것을 알 수 있다.

마지막으로 입력 전압이 가변을 하여도 역률은 평균 0.9이상

을 유지 하였다.

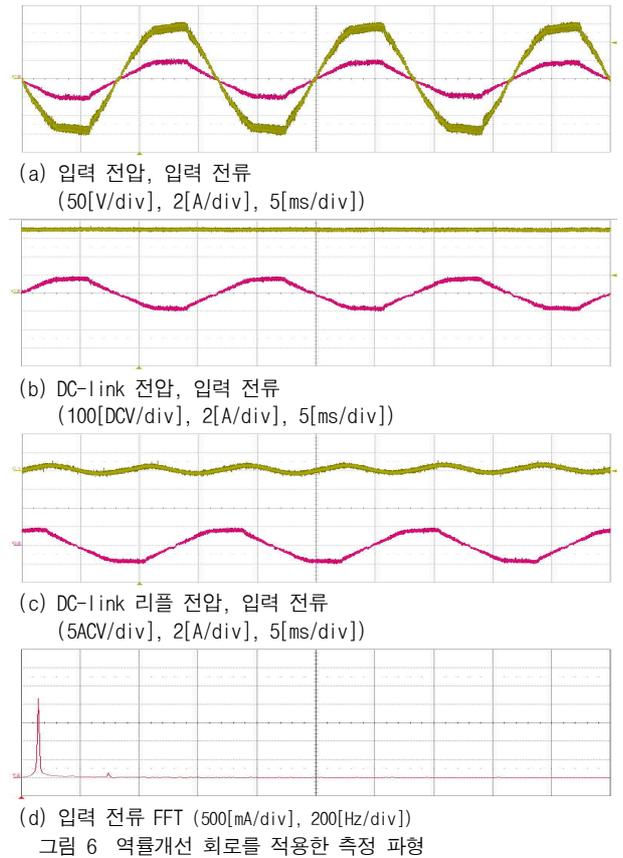


그림 6 역률개선 회로를 적용한 측정 파형 (입력전압:1 $\phi$  110[V], 60[Hz])

Fig. 6 Measurement waveforms with PFC (Input voltage:1 $\phi$  110[V], 60[Hz])

그림 7은 역률개선 회로를 적용한 Desk-Top Robot의 실제 로봇의 위치와 속도 파형이다.

실험 방식은 로봇 제어기의 실제 데이터를 RS-233 통신을 통하여 PC로 업 로드하여, MS사의 엑셀로 표현 하였다.

실험 조건은 1 $\phi$  220[V], 60[Hz]의 입력에 100[W] AC 서보 모터 4개를 가지는 Desk-Top Robot으로 부하는 약 200[W]정도 인가하였다.

그림 7의 실험을 위하여 적용한 Desk-Top Robot은 볼스크류 타입으로 볼스크류의 리드 길이는 표 2와 같으며, 위치 이동을 위한 각각의 축 별 목표 위치도 표 2와 같다.

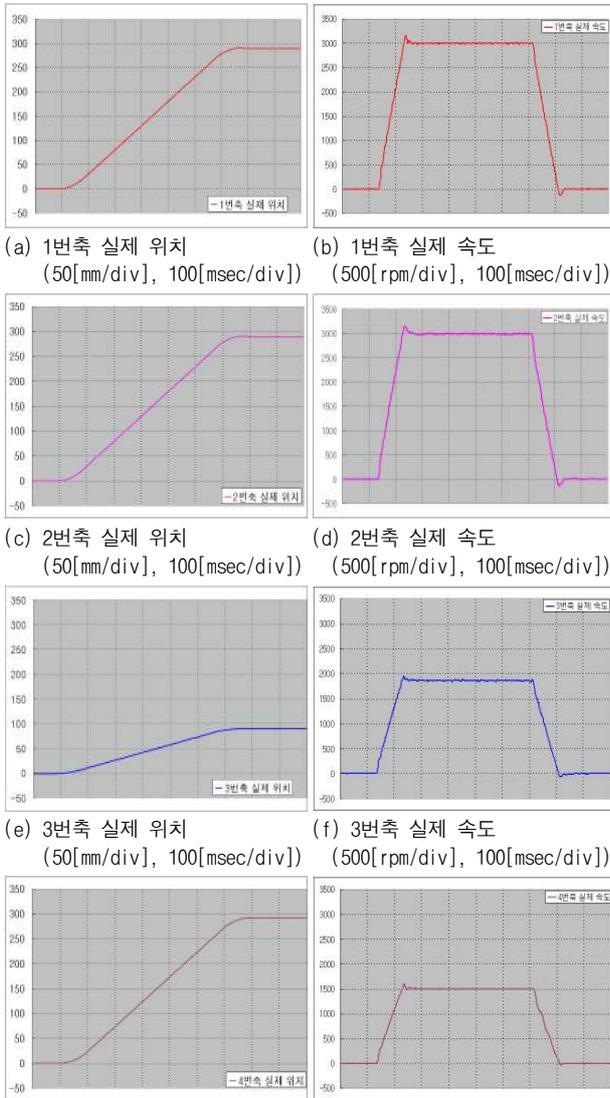
표 2 볼스크류 리드 길이와 목표 위치  
Table 2 Lead of ballscrew and reference position

로봇 축	볼스크류 리드 길이	목표 위치
1번축	10[mm/rev]	290[mm]
2번축	10[mm/rev]	290[mm]
3번축	5[mm/rev]	90[mm]
4번축	20[mm/rev]	290[mm]

그림 7의 (a), (c), (e), (g)는 로봇의 실제 위치이며, (b),

(d), (f), (h)은 모터의 실제 속도이다.

그림 7에서 볼 수 있듯이 역률개선 회로를 적용한 Desk-Top Robot의 4축 모두 정상 동작함을 알 수 있다.



(a) 1번축 실제 위치 (50[mm/div], 100[msec/div]) (b) 1번축 실제 속도 (500[rpm/div], 100[msec/div])

(c) 2번축 실제 위치 (50[mm/div], 100[msec/div]) (d) 2번축 실제 속도 (500[rpm/div], 100[msec/div])

(e) 3번축 실제 위치 (50[mm/div], 100[msec/div]) (f) 3번축 실제 속도 (500[rpm/div], 100[msec/div])

(g) 4번축 실제 위치 (50[mm/div], 100[msec/div]) (h) 4번축 실제 속도 (500[rpm/div], 100[msec/div])

그림 7 역률개선 회로를 적용한 Desk-Top Robot의 실제 로봇의 위치와 속도 파형

Fig. 7 Position and Speed Measurement waveforms of Desk-Top Robot with Power Factor Correction

#### 4. 결 론

본 논문은 역률개선 회로를 적용한 Desk-Top Robot의 타당성을 실험을 통하여 검증 하였다.

역률개선 회로를 적용하여 고조파 저감, 역률의 증가로 인한 각종 규제의 회피 및 수출에 대한 기대감을 가지고 왔다.

또한, 입력전압의 가변을 고려한 설계로 수출 지역의 입력 전원이 변동하여도, 별도의 추가 장치 없이 구동이 가능한 Desk-Top Robot이 되었다.

역률개선 회로의 출력 전압 제어를 통하여 안정적인 DC-link 전압을 얻을 수 있었으며, 그로 인한 안정적인 로봇 구동이 예상되었다.

마지막으로, 기존 로봇 장치에는 적용 되지 않던 역률개선 회로를 새롭게 적용하여, 제품 판매의 큰 이점으로 적용 할 것으로 예상된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 윤용호, 김재문, 이태원, 원충연, 김학성, “승압형 컨버터를 이용한 SRM의 구동시스템 역률개선”, 전력전자 논문지, 10권 3호, pp211-218, 2005.6.
- [2] 정용채, 권경안, “인버터 에어컨용 역률제어기능을 갖는 단상능동정류기”, 전력전자 하계 학술대회 논문집, pp31-34, 1998.7.
- [3] 유병규, 이성세, 한상규, 문건우, “역률개선을 위해 경계전류모드로 동작하는 브리지리스 부스트 컨버터”, 전력전자 추계 학술대회 논문집, pp90-94, 2003.11.
- [4] 이성희, “RPWM 및 APW 기법을 이용한 에어컨용 승압형 컨버터의 전도 노이즈 저감”, 성균관대학교 석사학위 논문, pp16-32, 2003.
- [5] 원충연, 백형래, 전희중, 홍순찬, “Pspice를 활용한 전력전자 공학”, 인터뷰전, pp51-54, 1999.
- [6] Infineon, “ICE1PCS01 Preliminary Datasheet”, Version 1.1, 2003.5.